

Ein Beitrag zur Einwirkung der Düngesalze auf die Bodenreaktion und den Ertrag verschiedener Pflanzen.

Von BOTHO v. ROSE (Königsberg Pr.).

ALLGEMEINER THEIL.

Über den Wert der verschiedenen Wachstums-Faktoren, d.h. über die durch sie bewirkte Erhöhung des Pflanzen-Ertrages, sind in letzter Zeit tiefere Aufschlüsse gewonnen worden. Seit der Entdeckung des "Wirkungsgesetzes der Wachstumsfaktoren" durch E.A. MITSCHERLICH weiss man, dass die einzelnen Pflanzen-Nährstoffe wie alle andern Wachstumsfaktoren, einen bestimmten Wirkungswert besitzen. In zahllosen Versuchen, sowohl in sterilem Sand als auch im natürlichen Boden, im freien Feld wie im Vegetations-Schuppen, ist der Beweis erbracht worden, dass mit der Steigerung eines Wachstums-Faktors der Ertrag einer jeden Pflanze gemäss dem Wirkungsgesetz steigt. Doch Bedingung für diese Versuche ist, dass alle übrigen Wachstums-Faktoren konstant gehalten werden, sowohl die physikalischen, wie Wärme, Struktur des Bodens, Wasser, als auch die chemischen. Während die Gleichsetzung der physikalischen Wachstums-Faktoren verhältnismässig leicht ist, macht die der chemischen, weniger der eigentlichen Pflanzen-Nährstoffe, als der weiteren Einflüsse des Bodens, wie Absorption und Reaktion, Schwierigkeiten. Absorptions-Erscheinungen sind es in manchen Fällen, welche die Wirkung eines Nährstoffes nicht klar zur Geltung kommen lassen. Bei weitem häufiger spielt eine Rolle die von Br. TACKE 1897 zum ersten mal untersuchte "Bodenreaktion".

Seit dieser Zeit und besonders in den letzten fünf Jahren sind über die Boden-Reaktion umfangreiche Forschungen angestellt worden, welche die Bedeutung dieses Wachstums-Faktors für das Pflanzenleben immer mehr erwiesen haben und noch längst nicht als abgeschlossen gelten können. Einen Beitrag zu dieser Frage will die vorliegende Arbeit geben.

A. BEDINGUNGEN DER BODENREAKTION.

I. DIE DURCH DIE EIGENSCHAFTEN DES BODENS UNABHÄNGIG VOM PFLANZENSACHSTUM BEDINGTE BODENREAKTION.

Betrachten wir den Boden ohne Rücksicht auf die in ihm wachsenden Pflanzen, so sind es mannigfache Faktoren, die seine Reaktion bedingen. Böden mit einem Überschuss von Aluminiumoxyd, Eisenoxyd und Kieselsäure werden oft sauer, kalkreiche Böden dagegen infolge der säurebindenden, regulierenden Wirkung des Kalkes meist neutral reagieren. Kalk kann aber auch, ebenso wie Natron, eine alkalische Reaktion des Bodens hervorrufen.

Neben diesen mineralischen Bestandteilen des Bodens sind gleich wichtig seine organischen Stoffe, die, wenn sie bei Luft-Abschluss, meist infolge stagnierenden Wassers, in Fäulnis übergehen, sich in Säuren umsetzen und in Gestalt v. Ortstein-Bildung jede Vegetation unterbinden können. Letztere Erscheinung ist ein seltenes Extrem; doch sind geringere Unterschiede in der Boden-Reaktion bei unsern Kulturböden wohl stets vorhanden gewesen und dadurch, dass die mineralische Zusammensetzung des Bodens seit LIEBIG durch Zufuhr künstlicher Düngesalze verändert wurde, mitunter bedeutend gesteigert worden. Besonders der Kalk hat hier eine Rolle gespielt. Schwefel wirkt gleichfalls, in umgekehrter Richtung als Kalk, auf die Boden-Reaktion; doch hat er bisher Bedeutung fast nur für die wissenschaftliche Versuchs-Tätigkeit gehabt. Die Beeinflussung der Boden-Reaktion durch die beiden Düngemittel steht aufgrund zahlreicher Versuche qualitativ,

wenn auch nicht quantitativ fest. Welche Faktoren bei der Kalk- und Schwefelwirkung massgebend sind, soll später erörtert werden.

II. DIE DURCH DAS PFLANZENWACHSTUM BEDINGTE BODENREAKTION.

a. Die nicht physiologische durch das Pflanzenwachstum bedingte Bodenreaktion.

Dass zu den eben genannten Faktoren, welche die Boden-Reaktion bedingen, auch das Pflanzen-Wachstum gerechnet werden muss, darauf scheinen Versuche von PRJANISCHNIKOW und KRULL (1) mit Keimlingen in Lösungen hinzudeuten. In Vegetationsversuchen mit natürlichem Boden suchten das gleiche zu beweisen KÖNIG, HASENBÄUMER und KRÖGER (2). Dass diese zu keinem klaren Befunde kamen, liegt wohl daran, dass zwischen den unter künstlich hergestellten Wachstums-Bedingungen ausgeführten Experimenten und den unter naturgemässen eine Lücke klappt, die wohl erkannt, vorläufig aber durch die wissenschaftliche Versuchstätigkeit noch nicht ausgefüllt ist. Es fehlt besonders an einer quantitativen Beobachtung der Erscheinungen bei Versuchen in Lösungen.

Diese Gründe waren für den Verfasser massgebend, diesen die Boden-Reaktion beeinflussenden Faktor und die Frage, wie diese Einwirkung der Pflanze auf den Boden im einzelnen vor sich geht, ob dabei Wurzel-Ausscheidungen eine Rolle spielen, und wie diese chemisch charakterisiert sind, bei der vorliegenden Arbeit unberücksichtigt zu lassen.

b. Die physiologische Bodenreaktion.

In einem Spezialfall ist die Einwirkung der Pflanze auf die Boden-Reaktion ausgeprägter und übersehen wir dieselbe besser, nämlich bei einer besonderen Zusammensetzung der mineralischen Bestandteile des Bodens. Enthält der Boden (stets künstlich zugeführte) physiologisch saure und physiologisch alkalische Düngesalze, und wirkt dann das Pflanzen-Wachstum auf denselben, so findet eine physiologische Reaktion der Pflanze statt. Die Pflanze entnimmt in diesem Falle dem physiologisch sauren bzw. physiologisch alkalischen Düngemittel die Base bzw. Säure, setzt H u. OH-Ionen frei und bewirkt dadurch eine Veränderung der Boden-Reaktion. Diese ist durch ihre schädliche und günstige Beeinflussung der Pflanzen-Erträge erkennbar, wie zahlreiche Versuche gezeigt haben.

So tritt bei physiologisch saurer Grund-Düngung eine saure Boden-Reaktion u. damit ein Minder-Ertrag ein, der noch verstärkt werden kann durch Zugabe eines sauren Düngemittels, aufgehoben dagegen durch Zugabe eines alkalischen. Dies hat MITSCHERLICH (3) für saures Monokalium-Phosphat und sekundäres Kalium-Phosphat als Grunddüngung einerseits und 4 physiologisch verschieden wirkende Stickstoff-Düngemittel andererseits nachgewiesen. Wenn Chlor freigesetzt wird, tritt sehr stark saure Boden-Reaktion und damit starke Ertrags-Depression ein, z.B. bei neutraler Grunddüngung und Chlorammonium-Gabe, wie ebenfalls MITSCHERLICH (4) zeigte.

B. WIRKUNGEN DER BODENREAKTION.

I. DIE MÖGLICHKEITEN, DIE WIRKUNGEN DER BODENREAKTION FESTZUSTELLEN.

Nachdem die Faktoren, welche die Bodenreaktion bedingen, dargelegt sind, muss, bevor die Wirkung der Boden-Reaktion auf das Pflanzenleben untersucht wird, ausgeführt werden, wie wir diese Boden-Eigenschaft bestimmen können, da die Feststellung der Boden-Reaktion zum grossen Teil massgebend ist für die Möglichkeiten, ihre Wirkung zu prüfen.

Ein genaues Verfahren, die Reaktion des Bodens, oder richtiger gesagt, seine Wasserstoff-Ionen-Konzentration zu bestimmen, ist erst in letzter Zeit durch die elektrometrische Methode geschaffen worden; diese bietet die Grundlage für die einfacher anzuwendende kolorimetrische Methode. Lackmus- und Comber-Reaktion ge-

ben nur ungefähre Werte, Titrationsmethoden nur Aufschluss über die Menge des im Boden befindlichen Alkali, nicht aber darüber, wie weit H und OH-Ionen im Boden dissoziiert sind; ihre Sicherheit steht noch nicht fest.

Eine Prüfung der Wasserstoff-Ionen-Konzentration wird wohl bei allen Methoden der Versuchs-Anstellung, die sich mit der Wirkung der Bodenreaktion beschäftigen, und deren wichtigste im folgenden geschildert werden, angewandt werden müssen. Am wenigsten gilt dies vielleicht noch, wenn man die Wirkung von Säure und Base auf die Pflanze mit Keimlingen in Lösungen untersucht, weil man hierbei die Konzentration der Lösung vollkommen in der Hand hat.

Die beschränkte Bedeutung dieser Methode wurde schon erwähnt. Ihre begrenzte Wirkung ist auch darin begründet, dass das Leben der Keimpflanze mit dem der grünen Pflanze nicht zu identifizieren ist. Letztere verträgt wahrscheinlich weniger Säure und Base als erstere. Deshalb erhält man auch dann keine endgiltigen Ergebnisse, wenn man, wie **LEHMERMANN** und **FRESENIUS** (5) es getan haben, einen Schritt weiter geht und Keimversuche in mit Lösungen versetztem Sand anstellt.

Es ist also notwendig, um die Wirkungen der Boden-Reaktion festzustellen, **V e g e t a t i o n s v e r s u c h e** anzustellen, bei denen wiederum mehrere Möglichkeiten gegeben sind, nämlich Versuchs-Anstellung im sterilen Sande und im natürlichen Boden, sowie der Gefäss-Versuch und der Freiland-Versuch.

Diese Methoden sind wenigstens bisher, soweit aus der Literatur feststellbar ist, angewendet, und es fragt sich, wie dieselben zu bewerten sind. Durch Sandkulturversuche sind die meisten der bisherigen Ergebnisse über die Wirkung der Boden-Reaktion erlangt worden. Darf man nun diese ohne weiteres auf den natürlichen Boden übertragen? Dass das bedenklich ist, beweisen die Versuche von **LEHMERMANN**, **EINEKKE** und **WIESEMANN** (6). Diese zeigten, dass durch Zusatz von Ton in Sandkulturen eine Änderung der Pflanzen-Erträge eintrat; und zwar war diese Änderung durch eine Veränderung der Boden-Reaktion, nicht etwa dadurch, dass die Energie-Verhältnisse oder die Wasser-Versorgung der Pflanzen sich anders gestalteten, hervorgerufen worden. Also ist eine sichere Methode nur die Versuchs-Anstellung im natürlichen Boden.

Verlässt man nun aber den s. Z. von **HELLRIEGEL** gewiesenen Weg der Sandkultur-Methode und verwendet einzelne Böden zur Versuchs-Anstellung, so dürfen die bei einem einzelnen Boden gemachten Erfahrungen nicht verallgemeinert werden. Dies darf erst geschehen, nachdem eine genügende Menge von Böden geprüft ist. Doch liegen aus jüngster Zeit Versuche vor, die diese Bedingungen auf den ersten Blick nahezu erfüllen. Die von **MITSCHERLICH** (7) 1921-22 angestellten über 1000 Feld- und Topf-Versuche sind mit einer sehr grossen Anzahl verschiedener Böden (ca. 30) angestellt worden. Lässt sich die bei diesen Böden beispielsweise gemachte Schlussfolgerung, dass schwefelsaures Ammoniak und Chilesalpeter ganz gleich wirken, also die physiologische Reaktion keine Rolle spielt, auf sämtliche Bodenarten ausdehnen? - Trotzdem die hier gegebenen Düngemengen über den in der Praxis gebräuchlichen bleiben, heisst es am Schlusse der Besprechung der Versuche (8): "Ob die verschiedene physiologische Reaktion dieser Stickstoff-Arten in d. verschiedenen Bodenarten eine erhebliche Rolle spielen kann, sodass der Salpeter-Stickstoff auf sauren, der Ammoniak-Stickstoff auf alkalischen Bodenarten den Vorzug verdient, muss weiteren Untersuchungen vorbehalten bleiben".

Dieser Satz zeigt, welche Schwierigkeiten der Aufgabe, die Wirkung der Bodenreaktion festzustellen, schon allein in der Versuchsanstellung dadurch entstehen, dass erst die Untersuchung einer sehr grossen Zahl von Böden zum Ziele führen wird. Deshalb ist es auch erklärlich, warum die jetzt zu besprechenden Forschungs-Ergebnisse hauptsächlich auf Sandkultur-Versuchen beruhen, trotzdem sichere Resultate sich nur mit der auch bei vorliegender Arbeit angewandten Versuchs-Anstellung im natürlichen Boden erzielen lassen werden.

II. DIE WIRKUNG DER DURCH DIE EIGENSCHAFTEN DES BODENS UND ANDERE FAKTOREN UNABHÄNGIG VOM PFLANZENWACHSTUM BEDINGTEN BODENREAKTION AUF DIE PFLANZE.

Die Betrachtung der Wirkungen der Bodenreaktion hat, hauptsächlich weil sich nur auf diese Weise das grosse Versuchs-Material rubrifizieren lässt, unter 2 Gesichtspunkten zu erfolgen, nämlich a) ob und wie weit die Einwirkung der Bodenreaktion überhaupt stattfindet, und b) wie sich die Einwirkung bei den verschiedenen Pflanzen gestaltet. Beschränken wir uns zuerst auf die durch die Eigenschaften des Bodens unabhängig vom Pflanzenwuchs bewirkte Boden-Reaktion, so mögen an Hand einiger Versuche die Ergebnisse der Forschung gezeigt werden, wobei mitunter eine Wiederholung zugunsten der Durchführung einer strengen Systematik in Kauf genommen werden muss.

Zu a). - Eine ungefähre Vorstellung über die Wirkung der Boden-Reaktion vermittelt der Keimversuch, wie ihn ONODERA, STIEHR, KRULL (1) u.A. anstellten. Hier erkennt man deutlich die Schädlichkeit von Säure und Base; gewisse stärkere Konzentrations-Grade führen stets ein Absterben der Pflanzen herbei; niedrigere Konzentrationen erträgt die Pflanze, ja letztere scheint mitunter sogar günstig auf Säure und Base zu reagieren.

Weiter fand KRULL, wie auch schon O. ARRHENIUS (9), dass die Schädigungen sich nicht parallel mit der Stärke der Konzentration erhöhen, sondern ihr Verlauf 2 Spitzen aufwies, ein Moment, welches die Erklärung dieser Vorgänge wesentlich kompliziert und auf die Notwendigkeit exakter und sehr feiner Beobachtung bei Versuchs-Anstellungen hinweist.

Bei der Kultur der grünen Pflanze führt man praktisch und experimentell eine Veränderung der Boden-Reaktion meist durch Kalk und Schwefel herbei. Dass bei diesen Düngemitteln eine Nährstoff-Wirkung nicht infrage kommt, ist deshalb anzunehmen, weil wahrscheinlich jeder Boden von beiden Stoffen für die Pflanze genügende Mengen enthält. MITSCHERLICH (10) fand bei zahlreichen Düngungs-Versuchen mit Schwefelsäure als Wirkungswert für Schwefel die Zahl 50, was annehmen lässt, dass Schwefel ebenso wie Natrium und wahrscheinlich Magnesia, stets im natürlichen Boden in genügender Menge vorhanden sind.

Erfolgreiche exakte Versuche über Schwefelwirkung sind nur wenige ausgeführt worden; diese sollen im speziellen Teil erwähnt werden. Die Kalkwirkung ist meist unter dem Gesichtspunkt der Sonder-Erscheinungen bei den verschiedenen Pflanzen bearbeitet worden, weshalb auf den nächsten Abschnitt verwiesen sei.

Zu b.) - Die Besonderheiten der Wirkung der Boden-Reaktion bei den verschiedenen Pflanzen zeigt auch hier der Keimversuch. So prüfte ONODERA (11) die Wirkung verschiedener Säuren und fand bei allen Pflanzen mit Ausnahme der Soja-Bohne Schädigungen. LEMMERMANN und FRESSENIUS (12) fanden folgende Grenzwerte für H_2SO_4 -Lösungen in Sandkulturen:

bei Weizen	durch	ca.	0,005%	H_2SO_4 .
" Roggen	"	"	0,02%	"
" Gerste	"	"	3,02%	"
" Hafer	"	"	0,05%	"

Sehr genau festgestellt sind diese Schädigungs-Grenzen der Konzentrationen für Lösungen von Schwefelsäure, Salzsäure, Natronlauge und Ammoniumhydroxyd neuerdings von KRULL (1). Danach ist Gerste z.B. sehr empfindlich gegen Säure, weniger Hafer; Hafer verträgt relativ gut Säure sowohl wie Base, Buchweizen beide etwas weniger; Senf ist recht empfindlich gegen Säure und Base. Sehr auffällig ist die spezielle NaOH-Empfindlichkeit der Erbse.

Exakte Vegetations-Versuche im natürlichen Boden über die Wirkung der Bodenreaktion auf die verschiedenen Pflanzen sind erst in neuester Zeit ausgeführt worden, weil die Methode der Wasserstoffionen-Konzentrations-Bestimmung erst kurze Zeit bekannt ist. Älteres Material liefert nur die theoretische Botanik und die Angaben der landwirtschaftlichen Praxis. Letztere sind natürlich sehr allgemein gehalten und erfassen nur die extremen Erscheinungen, wie ja die Säure-Festigkeit verschiedener Wiesengräser und Kräuter, die Kalkliebe der Leguminosen Erbse, Klee u.a. bekannt sind. BREWER (13) bezeichnet im Zusammenhang mit dem Kalk-Kali-

Gesetz den Buchweizen "als für kalkreichen Boden unverträglich" und führt dafür Belege aus der botanischen Literatur an. GOY (14) führt in der kürzlich veröffentlichten Arbeit "die Kalk-Düngungsfrage und Ostpreussen" als sehr säureempfindlich an: Bohne, Erbse, Klee, Luzerne, von den Getreidearten Roggen und Hafer weniger als Gerste und Weizen. Rübe soll empfindlich, Kartoffel schwach säureliebend sein.

GEHRING und SANDER (15) untersuchen die Wirkung der - nach COMBER - festgestellten Boden-Aziditätsgrade mit verschiedenen Böden bei verschiedenen Pflanzen und kommen weder für eine Pflanze noch für einen Aziditätsgrad zu Ergebnissen. MÜNTER (16) dagegen prüft den Einfluss der alkalischen Bodenreaktion auf verschiedene Pflanzen und kommt zu dem Ergebnis, dass Alkali vertragen:

viel: Zuckerrübe, Gerste, Sommerweizen;

wenig: Möhren, Kartoffel, Rotklee, Lein, gelbe Lupine.

Ergibt sich nun ein einheitliches Bild, wenn man die unter b) genannten Resultate zusammenstellt? Nur in einzelnen Fällen. Schon die Keimversuche der verschiedenen Forscher differieren in ihren Ergebnissen, z.B. aus Gründen, wie sie KRULL (1) angibt. Am besten decken sich die Beobachtungen bei einigen Pflanzen. Dass Gerste weniger Säure verträgt als die meisten andern landwirtschaftlichen Kulturpflanzen, ist überlieferte Meinung der Ackerbau-Praxis, wie Ergebnis des Keimversuches; dass sie viel Base verträgt, beobachteten KRULL und MÜNTER. Der Landwirt weiss, dass Hafer nicht säureempfindlich ist, und der Keimversuch bestätigt dies. Bei Erbse und Buchweizen dagegen versagt ein solcher Vergleich.

Wenn wir hiernach in vielen Fällen die Zusammenhänge noch nicht durchschauen, so werden wir doch diese Erscheinungen im grossen und ganzen dadurch erklären müssen, dass wir für jede Pflanze ein Reaktions-Optimum annehmen (17).

III. DIE WIRKUNG DER DURCH DAS PFLANZENWACHSTUM BEDINGTEN BODENREAKTION.

Es wurde oben bereits erwähnt; dass durch das Pflanzenwachstum die Boden-Reaktion verändert wird, und dass praktisch vorläufig hierbei nur die Erscheinung inbetracht kommt, die wir mit dem Ausdruck "physiologische Reaktion der Pflanze" bezeichnen. Auch hier entsteht wieder die Frage: a) ob und wie weit die physiologische Reaktion der Pflanze wirksam, und 2) wie diese Wirkung sich bei den verschiedenen Pflanzen gestaltet. Hierbei muss gesagt werden, dass bei der Auswertung der bisher hierüber ausgeführten Versuche die Wirkung der physiologischen Reaktion von der Wirkung der Säuren- und Basen-Empfindlichkeit der Pflanze quantitativ nicht getrennt werden kann. Tritt bei Zugabe eines physiologischen Düngesalzes ein Minder-Ertrag ein, so kann das sowohl an der Stärke der physiologischen Reaktion der Pflanze, als auch an ihrer Empfindlichkeit gegenüber einer schädlichen Boden-Reaktion überhaupt liegen.

Bei den folgenden Versuchen tritt jedoch die physiologische Wirkung der Pflanze in den Vordergrund.

Zu a). - Die Lösung dieser Frage ist bis jetzt nur mit Hilfe des Vegetationsversuches in Angriff genommen worden. Es sei verwiesen auf die schon erwähnten Versuche MITSCHERLICHs mit saurer und alkalischer Grund-Düngung sowie 4 physiologisch verschiedenen Stickstoff-Düngemitteln; ebenso auf die Prüfung der Wirkung einer Chlorammonium-Gabe (siehe oben). Hier ist deutlich zu sehen, wie stark die Schädigung durch physiologische Wirkung der Pflanze werden kann. Während diese Versuche in Sandkulturen durchgeführt sind, ist der bei anderer Gelegenheit oben gleichfalls zitierte Versuch MITSCHERLICHs ein Vegetationsversuch im natürlichen Boden und hat deshalb besondere Bedeutung. Die Stellung, die dieser Forscher auch nach den Ergebnissen des letzten Versuches noch der physiologischen Reaktion einräumt, dürfte nach den genannten Ergebnissen seiner Sandkultur-Versuche noch einleuchtender sein.

Zu b). - Es wurde schon gesagt, wie schwierig bei Versuchen mit physiologischen Reaktionen die quantitative Abgrenzung der beiden Pflanzen-Eigenschaften "Empfindlichkeit der Pflanze gegen schädliche Boden-Reaktion" einerseits, und "physiologische Reaktion der Pflanze" andererseits durchzuführen ist. Besonders

wichtig ist die isolierte Beobachtung der physiologischen Reaktion der Pflanze, wenn diese Eigenschaft bei verschiedenen Pflanzen geprüft werden soll. Die einzige Möglichkeit, hier klar zu sehen, bietet eine genaue Kontrolle der Bodenreaktions-Verhältnisse des Versuches, welche auch vom Verfasser bei vorliegender Arbeit angestrebt, aber nicht erreicht wurde. Dahin gehende Versuchs-Ergebnisse der Literatur beschränken sich aus diesen Gründen auch nur auf orientierende Hinweise.

Ein diese Frage berührender Versuch MITSCHERLICHs (18) wurde 1919 mit Gerste Hafer, Buchweizen und Erbse sowie 3 Phosphaten (Tricalciumphosphat, Thomasmehl "T" und Angaur-Phosphat) angestellt. Es ergaben sich bei den ersten beiden Düngemitteln völlig normale, dagegen beim Angaur-Phosphat, besonders bei Erbse und Buchweizen, teilweise zuerst ganz unerklärliche Werte. MITSCHERLICH zog damals schon die verschiedenen physiologischen Reaktionen der verschiedenen Pflanzen zur Erklärung heran, die er dadurch begründet wissen will, "dass die einen Pflanzen von den einen Nährstoffen mehr, von den anderen weniger aufnehmen". Er sagt weiter wörtlich: "Das ergibt sich ja schon aus dem verschiedenen prozentischen Gehalte der verschiedenen Kulturpflanzen an Nährsalzen. Hierdurch kann es gern bedingt sein, dass die eine Kulturpflanze eine stärkere physiologische Reaktion hervorruft als die andere ...".

Auch die Ergebnisse, die PRJANISCHNIKOW bei seinen zahlreichen Phosphorsäure-Ausmützungsversuchen hatte, dürfen als Hinweis, dass die physiologische Reaktion der Pflanzen verschieden ist, gelten. Wenn er als die Faktoren, welche die Phosphorsäure-Ausmützung beeinflussen, ansieht (19):

1. Die Eigenschaften des Phosphorsäure-Düngemittels,
2. " " der Pflanze;
3. " " des Bodens,
4. " " der begleitenden Düngestoffe,

so sieht man, dass seine Systematik mit den hier vertretenen Anschauungen sich ungefähr deckt. Doch behandeln als Hauptfrage seine Versuche ebenso wie der letztgenannte von MITSCHERLICH die Phosphorsäure-Ausmützung der Pflanze, ein Problem, das mit dem im nächsten Abschnitt zu besprechenden Gesichtspunkt zusammenhängt.

IV. BODENREAKTION UND SCHWER LÖSLICHE NÄHRSTOFFE.

Eine nicht normale Wasserstoff-Ionen-Konzentration des Bodens wirkt im allgemeinen schädlich. Wirkt sie günstig, so kann das nur in dem Umstande begründet sein, dass saure Boden-Reaktion einen schwer löslichen Pflanzen-Nährstoff, die Phosphorsäure, aufschliesst und der Pflanze zugänglich macht. Dies gilt sowohl für nicht physiologische als auch für physiologisch-saure Bodenreaktion und besonders bei schwer löslichen Phosphaten. Es sei das "Vorlesungs-Experiment" Th. PFEIFFERs (20) erwähnt, nach dem physiologisch-saure Reaktion aufschliessend auf die Knochenmehl-Phosphorsäure in hohem Masse wirkte gegenüber einer Minderwirkung durch Beigabe eines physiologisch-alkalischen Düngemittels oder von Kalk. Das gleiche haben zahlreiche Versuche über die Depression der Ausmützung phosphorsaurer Düngesalze durch Calciumcarbonat bewiesen.

SILBERWACHER (21) fand dies für zweibasisch-, MITSCHERLICH (22) für dreibasisch-phosphorsauren Kalk und 3 andere Phosphorsäure-Düngemittel. Der letztere schon erwähnte Versuch MITSCHERLICHs bearbeitet die Frage, wie die Phosphorsäure-Wirkung sich bei den verschiedenen Pflanzen verhalte. Nach seiner Meinung ist diese bei den einzelnen Pflanzen verschieden, und zwar, wie schon zitiert, begründet wahrscheinlich durch die physiologische Reaktion der Pflanze. Auch hier sind wieder PRJANISCHNIKOWs Ausmützungsversuche zu nennen, deren Gesamtergebnis er wie folgt zusammenfasst: Die Phosphorsäure-Ausmützungsfähigkeit

	Phosphorite	Knochenmehl	Thomasschlacke
bei Getreide	10	40	70
" Erbsen	40	60	80
" Buchweizen	60	90	100,

wobei bei neutralem Boden die Ausmützung von Superphosphat = 100 gesetzt ist (23). Man sieht hieraus, dass auch PRJANISCHNIKOW, parallel zu den Resultaten MITSCHER-

LICHs, der Erbse und Buchweizen eine Sonderstellung einräumt.

Nach diesen Darlegungen wird man, wenn im Vegetationsversuch mit natürlichem Boden die Wirkung verschiedener saurer und alkalischer Düngesalze auf Boden und Pflanze, wie es bei der vorliegenden Arbeit der Fall ist, geprüft werden soll, hauptsächlich folgende Gesichtspunkte im Auge behalten müssen:

- Die optimale Bodenreaktion der Versuchspflanze;
- Die physiologische Reaktion der Versuchspflanze;
- Die Wirkung des Wachstums der Versuchspflanze auf die Boden-Reaktion;
- Die Boden-Reaktion ohne Düngung;
- Die Boden-Reaktion mit Düngung;
- Die Einwirkung der physiologisch sauren und alkalischen Düngemittel zusammen mit dem Pflanzenwachstum auf die Boden-Reaktion;
- Die Wirkung der Boden-Reaktion auf schwer lösliche Nährstoffe.

Verfasser ist sich bewusst, dass diese Zusammenstellung das Problem nicht erschöpft; so fehlen z.B. die vielseitigen unter das Gebiet des Pflanzenschutzes fallenden Fragen der Beziehung zwischen Boden-Reaktion und Pflanzen-Krankheiten, deren Behandlung aber über den Rahmen der Arbeit hinausgehen würde. Die wesentlichsten Seiten dürften jedoch berührt sein.

SPEZIELLER TEIL.

I. DER VEGETATIONSVERSUCH.

Der zur Versuchs-Anstellung verwendete Boden, ein milder sandiger Lehm, wurde im Frühjahr einem Schläge des Rittergutes Carmitten bei Königsberg entnommen, dort durch ein Maurersieb geworfen und im Laboratorium vollständig durchgeschaufelt. Die benützten Gefässe waren glasierte Tongefässe von 25 cm Höhe und 330 qcm Oberfläche, in deren Boden ein Sieb eingesetzt ist. In jedes Gefäss wurde 11 kg lufttrockener Boden, der vorher mit den betr. Düngemitteln gründlich durchmischet worden war, mit der Hand eingefüllt. Die 5 verschiedenen Düngungen (bezeichnet mit I - V) wurden in folgender Weise gegeben:

Je Topf Grunddüngung für Düngung I - III. - 6 g Natronsalpeter; 10 g Thomasmehl, 3 g schwefelsaures Kali;

Je Topf Grunddüngung für Düngung IV und V: 5 g schwefelsaures Ammoniak, 10 g Thomasmehl, 3 g schwefelsaures Kali.

Zu diesen Grunddüngungen traten: bei Düngung II: 10 g Calciumcarbonat

" " I 25 g "

" " V 2 g Schwefelblüte.

Stickstoff und Kali wurden in gelöster, die andern Nährstoffe in fester Form verabfolgt. Zu Versuchspflanzen wurden gewählt: von den Gramineen Hafer und Gerste; von den Leguminosen Erbse und Bohne; von den Polygonaceen Buchweizen und von den Cruciferen Senf. Dazu kam noch ein Versuch mit Zucker-Moorhirse (*Sorghum saccharatum*). Um diese 7 Versuchspflanzen in ihrer Reaktion auf oben genannte 5 Düngungen zu prüfen, wären bei 4-maliger Wiederholung eines jeden Versuches $7 \times 5 \times 4 = 140$ Gefässe nötig gewesen. Da sich aber beim Füllen der Töpfe herausstellte, dass die in Carmitten genommene Probe für 140 Töpfe nicht genügte, wurde eine Versuchspflanze, und zwar Hafer, die als am wenigsten säure-empfindlich angesehen wurde, nur mit den alkalischen Düngergaben I - III angesetzt.

In den ersten Tagen des Mai wurde eine bestimmte Zahl von Samen gesetzt; die Keimung war bei allen Pflanzen, ausgenommen Senf und Zucker-Moorhirse, eine normale, sodass nach ca. 3 Wochen die Pflanzen in den Gefässen verzogen werden konnten und zwar bei Gerste und Hafer auf je 35 Pflanzen pro Gefäss, bei Erbsen und Bohnen auf je 15, bei Buchweizen auf je 40. - Senf und Zucker-Moorhirse zeigten sehr niedrige Keimprozentage, was bei ersterem auf die nasse Frühjahrswitterung, bei letzterer wahrscheinlich auf die für die Pflanze zu tiefe Temperatur (24) zurückzuführen ist. Es wurde versucht, durch Nachpflanzen von in feuchtem Sand gezogenen Keimlingen die Pflanzenzahl auf gleicher und angemessener, die Individualität der einzelnen Pflanze als Fehlerquelle möglichst ausschaltender Höhe zu

halten. Dies ist jedoch bei keiner der beiden Versuchspflanzen gelungen, da die nachgepflanzten Keimlinge den Wachstumsvorsprung der zuerst gepflanzten innerhalb der Wachstumsperiode nicht nachgeholt haben. Der Versuch mit Zucker-Moorhirse fiel deshalb aus.

Die Töpfe wurden täglich auf 100% Wassergehalt gegossen derart, dass jede Wassergabe so hoch bemessen wurde, dass ein Teil des zugegebenen Wassers durch das Bodensieb tropfte. Von einem ständigen Ersatz des verdunsteten Wassers durch Wiegen der Töpfe und Erhaltung einer niedrigeren den natürlichen Wachstums-Bedingungen entsprechenderen Wasser-Kapazität wurde abgesehen, einerseits, weil die durch erstgenannte Methode verursachten Fehler nicht so hoch sein konnten, dass sie nennenswerte durch die verschiedene Düngung bewirkte Unterschiede übertönten. Jedoch wurde das durch das Sieb des Gefäßes fließende Wasser in Schalen aufgefangen u. stets den Pflanzen wieder zugegeben. Auf diese Weise wurden durch Auswaschen der Salze verursachte Minderwirkungen der Dünger-Gaben verhindert, eine Massnahme, die bei einigen starken Regenfällen im Juli besonders wichtig war.

Um Fehler infolge Pflanzenkrankheiten zu verhindern, waren Gerste, Hafer, Erbsen, Bohnen, Buchweizen und Zucker-Moorhirse mit Uspulum vor der Saat gebeizt (Tauchverfahren). Um ein Fehlen der für die Leguminosen wichtigen Bakterien-Flora zu verhindern, wurde der Boden für Erbsen und Bohnen mit SIMONS Azotogen geimpft.

Trotz sorgfältigen Vorkehrungen gelang es nicht bei allen Versuchspflanzen, Krankheiten und Schädlinge fern zu halten. Alle Gefässe litten unter der Blattlaus (*Siphonophora cerealis*) und unter Rost sowie später unter der schwarzen Blattlaus (*Aphis viciae* Kaltb.). Behandlung mit Parasitol und mechanische Entfernung haben jedoch eine starke Einwirkung auf die Pflanzen verhindert. Nur wenige Gefässe mussten wegen Spatzen-Frasses bei der Mittelbildung unberücksichtigt bleiben.

Gegen Ende des Wachstums stellte sich beim Buchweizen heraus, dass die angewandte Sorte *Polygonum Fagopyrum* L., echter Buchweizen, mit ca. 10% einer anderen Sorte, *Polygonum tataricum* L. (Tatarischer B.) untermischt war. Letzterer unterschied sich deutlich vom echten Buchweizen in der Form seiner Samen und durch s. späteres Reifen. Es ist anzunehmen, dass hierdurch der Fehler dieser Versuchsreihe erhöht worden ist.

Es wurden geerntet Gerste und Senf am 5. August, Hafer und Buchweizen am 20. August. Die Ernte von Erbse und Bohne verzögerte sich durch Kühle und feuchte Witterung bis zum 28. August.

Andere phänologische Beobachtungen von Bedeutung wurden nicht gemacht.

Tabelle I.

Zusammenstellung der Ernte-Mittel und ihrer wahrscheinlichen Fehler.
(in Gramm Trockensubstanz)

Gerste.

Dün- gung	Stroh			Korn			Stroh = 100 Korn =	Stroh			Korn			
	M	±	R	M	±	R		M	±	R	M	±	R	
I	54,1	±	2,3	44,4	±	1,4	82,04	}	53	±	1,1	45	±	1,3
II	52,5	±	1,4	46,1	±	1,1	87,70							
III	51,82	±	2,3	43,7	±	1,1	84,14							
IV	60,1	±	1,7	52,0	±	2,1	86,72	}	60	±	1,1	50,8	±	0,9
V	61,0	±	1,5	49,8	±	1,5	83,1							

Tabelle I. cont.

Dün- gung	Stroh			Korn			Stroh= 100 Korn =	Stroh			Korn			
	M	±	R	M	±	R		M	±	R	M	±	R	
Hafer.														
I	73,9	±	1,85	61,7	±	1,15								
II	68,7	±	1,95	53,4	±	0,85								
III	73,9	±	1,25	56,3	±	0,45								
Buchweizen.														
I	15,9	±	1,5	17,8	±	0,75	111,9	} 20,2 ± 0,9	}	22,8 ± 1,1				
II	20,8	±	1,5	23,6	±	1,7	113,4							
III	23,9	±	1,2	26,9	±	1,3	112,6							
IV	19,9	±	1,8	18,1	±	0,4	90,9	} 19,2 ± 1,1	}	17,9 ± 0,5				
V	18,4	±	1,7	17,8	±	2,8	96,7							
Bohnen.														
I	65,0	±	4,21	38,2	±	2,69		} 65,1 ± 2,13	}	41,9 ± 2,40				
II	70,8	±	3,40	48,0	±	4,34								
III	59,5	±	3,27	39,7	±	5,20								
IV	51,0	±	1,24	33,2	±	2,07		} 52,7 ± 1,34	}	33,4 ± 1,35				
V	53,5	±	2,55	33,6	±	2,18								
Erbsen.														
I	39,9	±	2,86	33,5	±	2,91								
II	48,3	±	2,96	29,2	±	1,77								
III	51,1	±	2,77	37,5	±	4,34								
IV	45,3	±	1,57	40,7	±	1,39								
V	38,5	±	1,74	26,2	±	2,23								
Senf.														
	(Gesamtertrag ± R)						(Gesamtertrag ± R)							
I				61,4	±	3,7	}	}	56,8	±	1,17			
II				54,5	±	1,55								
III				54,5	±	1,35								
IV				71,6	±	2,05	}	}	68,6	±	1,25			
V				65,6	±	1,65								

II. DIE AUSWERTUNG DER ERGEBNISSE.

Diese erfolgte im Hinblick auf das am Schlusse des allgemeinen Teils gegebene Schema, wobei zuerst die den Boden betreffenden Gesichtspunkte, sodann die d. Pflanze betreffenden besprochen werden. Massgebend hierfür waren die aus den Einzelergebnissen gebildeten Mittel der Ernten für je 4 Parallel-Gefässe mit ihrem wahrscheinlichen Fehler (siehe Tabelle I). Zur Vervollständigung des Bildes bei einigen Gesichtspunkten mussten noch Nebemessungen ausgeführt werden, die

an der betreffenden Stelle dargelegt sind.

Die Reaktion des Bodens ohne Düngung.

Die Betriebsleitung des Rittergutes Carmitten gab an, auf dem Schlage, dessen Probe Gegenstand dieses Versuches ist, wüchsen keine Erbsen; sie hielt es für wahrscheinlich, dass hierfür Bodensäure der Grund sei. Da die Erbse aber auch aus vielen andern Gründen (spezielle Witterung des Jahres, bakteriologische Verhältnisse) versagen kann, ja die Säure vielleicht auf die Wasserverhältnisse, oder auch auf den Untergrund des Schlages (und in diesem Versuch wird nur die Krume geprüft) zurückzuführen ist, wurde die Probe nach der COMBER-Methode auf Säure untersucht. Das Ergebnis war negativ, Grund zur Annahme einer sauren Reaktion des Bodens also nicht vorhanden.

Die Reaktion des Bodens mit Düngung.

Kalciukarbonat beseitigt eine schädliche Säure-Reaktion im Boden. Diese regulierende Wirkung ist gerade beim gefällten kohlensauren Kalk, im Gegensatz etwa zum Marmor-Mehl oder Ätzkalk, besonders vorhanden. Es liegt dies an der Feinheit seiner Teilchen, da hierdurch eine grosse Oberfläche gegeben ist, die den Lösungsprozess beschleunigt. Deshalb muss man damit rechnen, dass die Wirkung der Kalk-Gaben in Düngung I und II sehr schnell in den Gefässen auftritt.

Schwefel (Schwefelblüte) hat die Fähigkeit, die Bodenreaktion zu verändern dadurch, dass dies Element, trotz seiner chemischen Schwerlöslichkeit, im Boden in Schwefelsäure übergeht. Wir entnehmen dies den Versuchen von DEWCLON (25), PFEIFFER und BLANCK (26) und HIBBARD (27). Wie schnell dieser Lösungsprozess vor sich geht, kann für den vorliegenden Fall nur vermutet werden, da dies nach den bisherigen Versuchen für jeden Boden verschieden ist. Ob also wirklich eine saure Reaktion noch während des Pflanzen-Wachstums in den Gefässen herbeigeführt würde, war unsicher. Schon erwähnt wurde, dass bei diesen 2 Düngemitteln eine Nährstoff-Wirkung nicht infrage kommt.

Natronsalpeter und schwefelsaures Ammoniak bewirken hauptsächlich p h y s i o l o g i s c h eine Reaktions-Änderung. Ohne Pflanzenwachstum zersetzen sie sich im Boden langsam; ihre reaktionsändernde Wirkung ist wahrscheinlich dann eine sehr geringe, wie später noch gezeigt wird. Die Kali- und Phosphorsäure-Düngungen können wegen ihrer geringen Mengen und deshalb, weil sie als Grunddüngung alle Gefässe gleich beeinflussen, unberücksichtigt bleiben.

Die Eigenschaften der Düngemittel in Bezug auf ihre physiologische Reaktion.

Von den zugegebenen Düngemitteln (siehe oben) kommen hier in Frage: Schwefelsaures Kali, schwefelsaures Ammoniak und Natronsalpeter, von denen das erstgenannte vernachlässigt werden kann, da es nur in geringen Mengen zugegeben ist. Und sollte wirklich Schwefelsäure frei werden, so enthält die Düngung überall im Thomasmehl die zur Bindung derselben nötige Menge von Kalk. Natronsalpeter und schwefelsaures Ammoniak sind physiologisch wirkende Düngemittel; dies ist schon im allgemeinen Teil klargelegt.

Die Wirkung der Bodenreaktion auf schwerlösliche Nährstoffe.

Die in manchen Formen schwer lösliche Phosphorsäure ist in dem leicht löslichen Thomasmehl zugeführt, und zwar in einer Menge, die für hohe Erträge genügt, sodass eine Aufnahme der durch den Boden gebundenen oft schwer löslichen Phosphorsäure nicht infrage kommt. Deshalb wird auch eine etwa stattfindende Absorption der Phosphorsäure durch CaCO_3 , wie sie MITSCHERLICH (28) auch für Thomasmehl nachgewiesen hat, nicht zu Phosphorsäure-Mangel der Pflanze führen.

Die physiologische Reaktion der verschiedenen Versuchspflanzen.

Die Lösung dieser Frage schien in der Art der fünf verschiedenen Düngungen gegeben. Dünge ich eine Pflanze X mit starker physiologischer Reaktion, und eine Pflanze Y mit schwacher physiologischer Reaktion mit einem Nährstoff einmal in physiologisch alkalischer, das andere mal in physiologisch saurer Form, so ist es solange fraglich, ob Ertrags-Unterschiede auftreten, wie man nicht weiss, wie überhaupt die Pflanzen X und Y auf Säure und Alkali reagieren. Deshalb war in Düngung I und II, sowie V CaCO_3 und S zugegeben, damit, in Falle dass durch physiologische Reaktion Säure und Alkalität nicht herbeigeführt wurde, dies durch Kalk und Schwefel geschähe. Da jedoch die Säure-Wirkung des Schwefels immerhin fraglich war, ausserdem das Wachstum im Sommer es möglich erscheinen liess, dass überhaupt keine grossen Ertrags-Differenzen bei den einzelnen Düngungen sich ergeben würden, so wurde zur Zeit des Frucht-Ansatzes eine Prüfung der Böden sämtlicher Töpfe auf Säure-Unterschiede vorgenommen. Hier sollte sich zeigen, wie weit die Base in NaNO_3 und die Säure in $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ im Laufe der Nährstoff-Aufnahme freigesetzt ist.

Die Untersuchung wurde im Juli nach der Methode COLBER angestellt. Die Proben wurden aus den Töpfen mit dem Bohrstock genommen und eine gleiche Menge luft-trockener Boden mit Rhodankaliumlösung versetzt. Da nach 24 Stunden sich noch keine Rotfärbung erkennen liess, wurde mit einer Säure-Lösung titriert. Aber auch hierbei liessen sich keine irgendwelchen Unterschiede feststellen. Im Zusammenhang hiermit steht die Untersuchung nach der CHRISTENSEN'schen Azobakter-Methode, die bei gleicher Probeentnahme im Oktober ausgeführt wurde; ihr Ergebnis war überall positiv. Hieraus ist zu schliessen, dass Säure bei keiner der Versuchspflanzen aufgetreten, weiter dass der Grad der Alkalität durch die verschiedenen Pflanzen nicht verschieden beeinflusst worden ist, ja, dass überhaupt keine Reaktions-Unterschiede bewirkt worden sind. Das Gegenteil lässt sich aber aus den Erträgen schliessen, die deutlich die Wirkung der physiologischen Reaktion zeigen. Ob andere Methoden zu Ergebnissen gekommen wären, wird unten noch erörtert werden; vielleicht treten auch die Reaktions-Unterschiede hauptsächlich in der Zeit der intensivsten Nährstoff-Aufnahme auf, und werden im weiteren Verlauf des Wachstums durch den Boden neutralisiert. Anhaltspunkte für die Verschiedenheit der physiologischen Reaktion der Pflanzen haben sich also nicht ergeben, und es wird in der Arbeit fernerhin damit gerechnet, dass diese bei allen Pflanzen gleich ist, und die Verschiedenheit der Erträge bei physiologisch-saurer und -alkalischer Düngung hauptsächlich bestimmt wird durch die für jede Pflanze verschiedene optimale Bodenreaktion.

Gerste. - Die Ernte-Mittel geben Unterschiede ausserhalb des vierfachen wahrscheinlichen Fehlers nur im Vergleich von Düngung (I - III) und (IV-V). Innerhalb der physiologisch-alkalischen und der physiologisch-sauren Düngung liegen keine Anhaltspunkte für Differenzen vor. Die CaCO_3 -Düngung scheint die Boden-Reaktion nicht weiter beeinflusst zu haben; auch der natürliche Kalkgehalt des Bodens reicht für die Nährstoffbedürfnisse der Gerste aus, was ja aufgrund der Azotobakter-Untersuchung anzunehmen war und sich bei den andern Versuchspflanzen auch feststellen lässt. Gar nicht gewirkt hat die Schwefel-Gabe, was bei allen 6 Versuchspflanzen der Fall ist, und worauf an späterer Stelle eingegangen werden wird.

Auffallend ist, dass die Säure günstig, die Base ungünstig gewirkt hat. Glaubte man bisher doch an eine, wenn auch nicht grosse, Säure-Empfindlichkeit der Gerste wie aller Halmfrüchte, ja, dass Gerste säureempfindlicher als Hafer und Weizen sei. Man vergleiche auch die oben angeführten Ergebnisse KRULLS u.A. Die in der Literatur vorhandenen Angaben über die N-Düngung von Gerste sind meist im Hinblick auf ihren Anbau zu Brau-Zwecken und damit auf die ± schnelle Aufschliessbarkeit der N-Düngemittel gerichtet. Wenn allerdings KRAFFT (29) in diesem Zusammenhang Ammonsulfat besser wirkend als Chile-Salpeter angibt, so mögen vielleicht die gleichen Erscheinungen zugrunde liegen wie hier. Eine befriedigende Erklärung des Befundes fehlt jedoch.

Der Versuch, eine besondere Wirkung der Düngungen auf das Verhältnis Korn zu Stroh festzustellen, führte zu keinem Ergebnis.

Bei Hafer kamen nur die 3 alkalischen Düngungen zum Ansatz (siehe oben). Ihre Ernte-Mittel bewegen sich innerhalb des vierfachen - recht hohen - wahrscheinlichen Fehlers, weshalb auch hier über die Wirkung der CaCO_3 -Düngung das gleiche gilt wie für Gerste.

Buchweizen. - Die Kalkfeindlichkeit dieser Pflanze ist dem Landwirt seit langem bekannt. EHRENBURG bringt darüber eine reichhaltige Literatur-Angabe und erwähnt als ältesten K. SPRENGEL (30), der sagt, "dass der Kalk am wenigsten wohl das Wachstum des Buchweizens begünstigt". DÜCKER VOLKMARST (31) nennt Buchweizen kalkfeindlich. Ein allerdings beinahe 50 Jahre zurückliegender Versuch mit Buchweizen über CaCO_3 -Wirkung ist von FITTBOGEN (32) gemacht worden. Er fand, dass im Mittel zweier Gefässernten 20 g Calciumcarbonat den Ertrag um über die Hälfte verringerten. Zwei Versuche von PFEIFFER über Ausnützung des Dicalciumphosphates durch Hafer und Buchweizen können vielleicht auch zum Beweis für die Kalkschädlichkeit bei Buchweizen dienen. Er erntete an Trockenmasse:

	P ₂ O ₅ als Dicalciumphosphat in g	Ernte-Trockenmasse	
		Versuchsreihe	
		1 (33) g	2 (34) g
Hafer	-	22,6 ± 0,62	5,4 ± 0,23
	0,2	65,0 ± 1,41	61,3 ± 1,14
	0,4	104,5 ± 1,66	
	0,6	122,4 ± 2,24	95,8 ± 0,78
	2,0	169,7 ± 2,48	110,1 ± 0,78
Buchweizen	-	16,9 ± 0,79	5,9 ± 0,14
	0,2	32,1 ± 1,87	
	0,4	39,4 ± 2,40	36,0 ± 1,25
	0,6	50,6 ± 1,59	52,9 ± 0,74
	2,0	54,9 ± 0,02	32,9 ± 4,29

Für Hafer ist die Dicalciumphosphat-Ausnützung durchaus normal, für Buchweizen sinkt sie bei höheren Gaben in Reihe 1 und in Reihe 2 kommt es zu erheblichen Schädigungen.

Den verschiedenen Verlauf der Ernte-Mittel von Reihe 1 und 2 bringt PFEIFFER mit den bei beiden Reihen verschieden verwendeten Bodenmengen (bei Reihe 1: 18,5 kg, bei Reihe 2: 11 kg) und der Tiefenausdehnung der Buchweizenwurzel in Zusammenhang. Die Minderwirkung der Phosphate, bzw. die Schädigung bei höheren Gaben soll nach seiner Ansicht an einer Art Phosphorsäure-Überschwemmung des Buchweizens liegen. "Der Buchweizen hat ein stärkeres Nährstoffbedürfnis für Phosphorsäure als der Hafer, was sich in seinem höheren Gehalte an diesem Bestandteile deutlich ausprägt; ... Grössere Gaben leicht löslicher Phosphorsäure-Verbindungen, die vom Hafer gut vertragen werden, bewirken aber bei ihm ungekehrt eine erhebliche Schädigung" (35).

Nun ist aber für Hafer bewiesen (siehe oben), dass Kalk die Phosphorsäure-Wirkung herabdrückt; ebenso ist die Kalkfeindlichkeit des Buchweizens bekannt. Beim Hafer haben im PFEIFFERschen Versuch die im Dicalciumphosphat enthaltenen Kalkmengen die Phosphorsäure-Wirkung nicht beeinträchtigt; sollte das aber nicht bei dem sehr kalk-empfindlicher Buchweizen der Fall gewesen sein? Daneben ist noch die Annahme möglich, dass überhaupt Kalk, auch ohne Beziehung zur Phosphorsäure-Düngung, schädigend gewirkt hat, was allerdings bei den in der verwendeten Phosphatdüngung enthaltenen geringen Mengen nicht so einleuchtend ist, und eben erst durch Versuche bewiesen werden müsste. (Dass EHRENBURG (36) diese Versuchsergebnisse PFEIFFERs auch mit der Kalk-Wirkung, allerdings in anderer Weise, er-

klärt, sei nur angedeutet.)

Die Wahrscheinlichkeit besteht nach FITTBOGEN und PFEIFFER also, dass Buchweizen durch Kalk geschädigt wird, was auch der hier vorliegende Versuch zeigt. Man vergleiche die Korn- und Stroh-Erträge der Düngungen I, II und III. Die Differenz III minus I, wenn auch nicht III minus II und II minus I, liegen innerhalb des 4-fachen Fehlers. Weiter ergibt sich, dass eine physiologisch-saure Reaktion den Ertrag des Buchweizens in ebensolcher Masse herabdrückt wie eine durch Kalkdüngung herbeigeführte alkalische Reaktion es tun kann. Die Mittel von Düngung (IV+V) und Düngung I liegen innerhalb des 3-fachen Fehlers für Stroh, des einfachen Fehlers für Korn. Die steigende Ertrags-Depression bei steigender Alkalität geht aus den Erntezahlen deutlich hervor. Sie scheinen die Antwort nach der Optimalreaktion der Pflanze zu geben; diese wäre demnach *schwach alkalisch*, und durch die physiologische Wirkung des NaNO_3 gerade hergestellt worden. Voraussetzung hierfür ist allerdings, dass die Schädigung der Kalkdüngungen auf der durch sie herbeigeführten Reaktions-Änderung beruht und nicht auf spezifischer Kalkwirkung. Das erstere aber angenommen, lässt sich vielleicht ein Anschluss an Keimversuche mit Buchweizen in Lösungen finden, insofern, als KRULL (1) diese Pflanze in relativ geringen Grenzen *gleichempfindlich* gegen Säure und Base fand; auch der vorliegende Versuch zeigt ja diese doppelte Schädigung.

Eine Schwefel-Wirkung konnte wiederum nicht festgestellt werden, dagegen tritt noch eine andere Gesetzmässigkeit in Erscheinung.

Die Beeinflussung des Stroh-Korn-Verhältnisses durch Kalkdüngung ist für einige Kulturpflanzen bekannt. LANGETHAL (37) gibt an, dass bei Raps und Spörgel die Körner-Prozente durch Kalk zu steigern sind. Ein schlagendes Beispiel für d. Baumwoll-Pflanze gibt HILGARD (38). Dass bei Buchweizen das gleiche, und nicht nur bei Kalk (was schon FURUTA (39) fand), sondern überhaupt bei alkalischer Reaktion der Fall ist, geht aus den Berechnungen der Körner-Prozente bei vorliegendem Versuch hervor. HILGARDs Beobachtungen sind allerdings nicht ohne weiteres mit den hier gemachten zu vergleichen. Er findet auf kalkarmem Standort enorme Entwicklung von Stauden und Blättern vereinigt mit minimalem Frucht-Ansatz, dagegen auf Kalkmergel Baumwollstauden, "die nur etwa halb so hoch standen" mit reichlichem Fruchtkapsel-Ansatz. Hier scheint also die Holz- und Blattmasse der Pflanze bei Kalkgehalt herabzugehen, dagegen die Fruchternte zu steigen; während beim Buchweizen nicht nur die Fruchternte, sondern auch die Strohernte absolut steigt und letztere sich nur prozentual vermindert. EHRMANNBERG (40) bringt diese Erscheinung in Verbindung mit der Praxis des "Ringelns" der Obstbäume und des Einschnürens der Kartoffelpflanzen zur Steigerung des Blüten- und Frucht-Ansatzes. Dies ebenso wie Kalk im Boden hemmt die Kali-Aufnahme und damit die Leitung der Kohlenhydrate aus den Blättern in andere Teile der Pflanze, welche sich dann in den Sprossen anhäufen, sodass der Blüten- und Frucht-Ansatz stärker werde. Nach diesem Vorgange müsste beim Buchweizen-Versuch bei steigender Kalk-Gabe der Stroh-Anteil sinken, dagegen der Korn-Anteil, womöglich absolut, mindestens aber prozentual, steigen. Dies ist nicht der Fall. Der Korn-Prozentsatz hält sich nahezu genau auf der Höhe der schwach alkalischen Düngung III auch bei einer Gabe von 10 g und 25 g CaCO_3 , bei einem Sinken der absoluten Erntemengen. Ein zu viel von Kalk (oder alkalischer Reaktion?) bedeutet bei Buchweizen Schädigung.

Senf gedeiht auf mageren und kalkhaltigem Boden gut (KRAFFT, l.c.). Auch PRJANISCHNIKOWs Phosphorsäure-Ausnützungsversuche scheinen auf Säure-Empfindlichkeit des Sanfes hinzudeuten. Dem vorliegenden Senf-Versuch wird, dem ganzen Wachstumsverlauf nach, der schon geschildert, sowie der hohen wahrscheinlichen Fehler wegen, keine grosse Beweiskraft beigemessen, trotzdem eine Zusammenfassung in bekannter Weise zu Ergebnissen kommt, deren Differenzen ausserhalb der Fehler liegen. Es würde nach ihnen der Senf bei physiologisch-alkalischer Reaktion gut, dagegen bei physiologisch-saurer schlecht gedeihen.

Erbse und Bohne gehören beide zu den kalkliebenden Leguminosen; diese Pflanzenfamilie hat ein sehr ausgeprägtes Verhältnis zu Kalk - es gibt ausgesprochen kalkfeindliche sowie kalkliebende Leguminosen - und weiter ihre besondere Art der Stickstoff-Ernährung durch die Knöllchenbakterien. Mit letzterer Eigenschaft mag

es zusammenhängen, dass die Leguminosen sich im allgemeinen schlecht als Versuchspflanzen eignen. Der vorliegende Erbsen-Versuch hat die schon oft gemachte Erfahrung bestätigt, dass durch bakterologische Vorgänge (trotz Impfung!) oder durch die Individualität der Pflanzen bedingte Fehler so gross sind, dass die Ertrags-Differenzen wertlos werden. Es zeigen dies die Ertrags-Mittel und ihre Fehler. Bei der Bohne lassen sich trotz hohen Fehlern doch durch Gruppierung die Unterschiede zwischen alkalischer und saurer Düngung feststellen. Man könnte der Meinung sein, dass durch geringere Bodenstickstoff-Aufnahme infolge der Luftstickstoff-Assimilation auch eine geringere physiologische Reaktion bei NaOH_3 und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ stattfindet. Dies ist bei der Bohne hier nicht der Fall gewesen.

Besondere Aufmerksamkeit hat man dem Verhalten der Knöllchen-Bakterien gegenüber Kalk und Schwefel zugewandt. Versuche hierüber mit Kalk liegen nur für die Lupine vor. V. SEELMORST und CREYDT (41) finden, dass bei Lupine Kalk die Knöllchenbildung direkt schädigt, und nicht etwa die Schädigung mittelbar durch Schädigung der Pflanze stattfindet. Sowohl bei Bohnen als auch bei Erbsen wurde deshalb nach Aberntung des Versuches eine Untersuchung der Wurzeln vorgenommen; es konnten aber keine Unterschiede in der Knöllchenbildung gefunden werden. Es ist ja auch anzunehmen, dass die bei kalkliebenden Leguminosen lebenden Bakterien physiologisch anders auf Kalk reagieren, d.h. in diesem Falle nicht durch Kalk geschädigt werden; zu bemerken ist jedoch dass ARRHENIUS (42) der Ansicht ist, dass die Leguminosen-Bakterien (was die Reaktion angeht) ein anderes Wachstums-Optimum haben als ihre Wirtspflanzen. Hier müssen noch weitere Forschungen Klarheit bringen.

Die colorimetrische Bestimmung der Bodenreaktion.

Die bisher gemachten Schlussfolgerungen beruhen auf der Annahme, dass die physiologisch wirkenden Salze NaN_3 und $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ sowie Calciumcarbonat im mit Pflanzen bestandenen Boden eine Wirkung auf die Boden-Reaktion ausüben, indem sie dieselbe einerseits saurer und andererseits alkalischer machen. Dass dies, und wie weit es der Fall ist, sollten verschiedenen Untersuchungen feststellen.

Von diesen hat die eine, nämlich Feststellung von Reaktions-Unterschieden durch Keimversuche, von vorn herein versagt. Auch 2 andere Untersuchungen nach der Methode von COMBER und nach der Azotokakter-Methode von CHRISTENSEN, haben die nötige Klarheit nicht bringen können. Eine exakte quantitative Feststellung schien aber notwendig, weil es denkbar ist, dass irgendwelche Umstände eine Veränderung der Boden-Reaktion durch die Düngemittel verhindert oder auf ein Minimum reduziert haben.

Die Möglichkeit hierzu bot sich in der ohne grosse Apparatur auszuführenden Methode von WIERRY (43). Sie ist eine kolorimetrische und arbeitet mit 7 verschiedenen aus Pflanzenfarbstoffen hergestellten Indikatoren, aus deren Färbung man die Wasserstoff-Ionen-Konzentration mit 0,1 pH Genauigkeit feststellen kann. Hierdurch gelang es ausserdem, den Anschluss an die neueren, mit festen Werten für pH angestellten Versuche herzustellen. Die Untersuchung ist auch als Feld-Methode anwendbar, wurde aber hier der grösseren Genauigkeit und Bequemlichkeit wegen im Laboratorium in Reagenzgläsern ausgeführt.

Es wurden aus der oberen Erdschicht eines jeden Vegetationsgefässes, unter Vernachlässigung der Parallelversuche sowie der Düngung mit geringer Kalkgabe (Düngung II) Proben genommen, auch ein im Frühjahr vor dem Zusatz der Düngemittel zurückbehaltener Bodenrest mit einbezogen, und die Wasserstoff-Ionen-Konzentration festgestellt. Dieselbe hat folgende Werte:

=====

Tabelle 2.

Die Wasserstoff-Ionen-Konzentration pH im Gefässversuch mit Carmitter Boden bei verschiedenen Düngungen und verschiedenen Pflanzen. (Durch + verbundene Zahlen bedeuten eine mehrfache Prüfung des gleichen Gefässes).

Ohne Düngung und Pflanzenwuchs: pH = 7,4 + 7,4 + 7,5.

	Hafer	Gerste	Senf	Buchweiz.	Erbse	Bohne
I Phys. alk. + Kalk	7,2	7,6	7,3	7,4	7,6	7,3 + 7,2
III " "	7,6	7,6	7,2	7,2 + 7,6	7,6	7,2
IV " sauer	-	7,6	7,3	7,6	7,3	7,2 + 7,7
V " " + Schwef.	-	7,6	7,2	7,6	7,6	7,6

In Mittel: 7,4.

Was zeigen diese Zahlen?

1. Die Wasserstoff-Ionen-Konzentration für sämtliche Gefässe ist im Mittel 7,4. Wenn auch die Werte um mehr als 0,1 pH schwanken, so ist dies doch durch d. Schwankung von pH in grösseren Bodenmengen überhaupt sowie durch den Fehler zu erklären, das durch das Fehlen einer Farben-Skala bei der Untersuchung entstand, wodurch die Individualität des Beobachters, die sonst fast ganz ausgeschlossen ist, etwas mehr in den Vordergrund trat. Extreme Werte wie 7,2 und 7,7 sind deshalb umassgeblich, zumal sie sich in keine Beziehung zu Düngung und Pflanze bringen lassen. Demnach haben weder die einzelnen Düngungen, noch die einzelnen verschiedenen Pflanzen einen Einfluss auf die Boden-Reaktion ausgeübt.

2. Die Wasserstoff-Ionen-Konzentration des gedüngeten und abgeernteten Bodens ist gleich der des rohen Bodens. Also hat auch Düngung und Pflanzenwachstum *in s e s a m t* keinen Einfluss auf die Boden-Reaktion ausgeübt.

Bei diesen 2 Feststellungen muss jedoch mit der Möglichkeit gerechnet werden, dass während des Pflanzen-Wachstums Ionenkonzentrations-Unterschiede auftreten; dass dieselben gross sind, ist aber unwahrscheinlich. Lassen wir diese Möglichkeit beiseite, so müssen wir annehmen, dass die Pufferwirkung des Lehm Bodens oder des Pflanzenwachstums, oder beider zusammen, so gross ist, dass aus den physiologisch wirkenden Düngemitteln freigesetzte H- und OH-Ionen vollständig neutralisiert werden. Darauf deuten schon hin die oben erwähnten Versuche einerseits von LELLERMANN, EINECKE und WIESSMANN, andererseits von PRJANISCHNIKOW und KRULL. Aber die Stärke des Neutralisations-Vermögens bleibt auffällig bei der in so grossen Mengen (Stickstoff ca. 17 dz/ha, Kalk in CaCO_3 ca. 70 dz/ha) gegebenen Düngung. KÖNIG, HASENBÄUMER und KRÖGER schlossen aus ihren erst 1922 abgeschlossenen Versuchen, dass "selbst die in der Praxis gebräuchlichen Düngermengen" einen Einfluss auf die Boden-Reaktion ausüben und sich kolorimetrisch feststellen lassen (44). Sie prüften dies in Gefässen mit und ohne Pflanzenwuchs; ihre Werte für die pH-Differenzen sind, ausser bei Kalkdüngung, allerdings recht gering. So fanden sie eine Veränderung der pH von 5,1 bei Natron-Salpeter auf 4,9; bei Ammonsulfat auf 4,5. Für Kalk seien auch die Zahlen, die ARRHENIUS (45), der 4 Böden prüfte, für Sand- und Lehm Boden fand, mit denen von KÖNIG und Mitarbeitern in folgender Tabelle zusammengestellt, wobei die Kalkmergel-Gaben in CaCO_3 umgerechnet sind.

Einwirkung von Kalkdüngung auf verschiedene Böden.

CaCO_3 g/Kg	0	0,37	0,94	1,0	1,31	2,0	2,2	3,0	4,0	7,0
KÖNIG u. Mitarb., sand. Lehm pH	5,1	5,7	6,0		6,0					
ARRHENIUS, Sand, pH	4,5			4,9		6,0		6,9		
ARRHENIUS, Lehm pH	6,7					7,2		7,2	7,3	7,8
Carmitter Boden (sandiger Lehm) pH	7,4						7,4			

Nach diesen Zahlen hat es den Anschein, als ob Kalk die Wasserstoff-Ionen-Konzentration bei Lehmböden weniger beeinflusst als bei Sandböden und dass bei Lehmböden erst sehr hohe Gaben überhaupt einen Einfluss ausüben; dies wäre eine durchaus geläufige Vorstellung. Die Beobachtungen an dem Carmitter Boden sind damit erklärbar und man müsste annehmen, dass erst höhere Kalziumcarbonat-Gaben als die gewählten die Bodenreaktion beeinflusst hätten.

Die obigen Zahlen ausser denjenigen für Carmitten gelten für rohen Boden. KÖNIG (46) und Mitarbeiter haben auch einschlägige Versuche mit Haferkulturen und der normalen Volldüngung angestellt, was also noch genauer den vorliegenden Verhältnissen entsprechen würde. Ihre Ergebnisse sind ähnlich negativ, wie die hier gefundenen. Das gleiche gilt für ihre schon erwähnte Prüfung der Wirkung verschiedener Pflanzen (47) auf die Boden-Reaktion. Hier deckt sich das Bild ebenfalls mit dem Carmitter Boden. Denn aus den Zahlen der Tabelle II entnimmt man auch, dass die einzelnen Pflanzen keinen verschiedenen Einfluss auf den pH-Wert ausgeübt haben, weshalb dafür, dass ihre physiologische Reaktion verschieden wäre, jeder Anhalt fehlt.

Alle diese Ergebnisse sind abhängig von der Sicherheit der kolorimetrischen Methode. Hält man diese in jedem Falle für stichhaltig, so muss geschlossen werden, dass die im vorliegenden Versuche gefundenen Ertrags-Unterschiede nicht auf Reaktions-Veränderungen im Boden beruhen, sondern andere Gründe haben, die nur vermutet werden können. Doch ist die Methode wohl noch nicht genügend erprobt, um aufgrund derselben abschliessende Urteile fällen zu können.

III. NEBENVERSUCH.

Um die Frage der Beseitigung einer schädlichen Boden-Reaktion durch Düngemittel, speziell durch Schwefel, zu klären, wurde noch ein Versuch mit einem Boden angestellt, der dieses Jahr im hiesigen landwirtschaftlichen Institut der Universität im Rahmen der "MITSCHERLICH-Gesellschaft" im Vegetationsversuch auf seinen Nährstoff-Gehalt geprüft werden sollte und hierbei auffallende Erscheinungen gezeigt hatte. Die 2 von je einem Schläge des Rittergutes Gr. Klingbeck entnommenen Bodenproben von je 3 Ztr. (sandiger Lehm) waren in emaillierte und paraffinierte Gefässe mit Siebboden à 6,5 kgr gefüllt worden, nachdem sie zuvor pro Topf folgende verschiedene Düngungen erhalten hatten:

K I	K II	K III	K IV	K V
-N	+ 1,8N	+ 6N	+ 6N	6N
+K	+K	+K	-K	+K
+P	+P	+P	+P	-P

Stickstoff wurde in Form von Natron-Salpeter in Mengen von 1,8 g und 6,0 g, Kali in Form von 3 g Kaliumsulfat, Phosphorsäure in Form von 10 g Thomasmehl gegeben.

Die im Frühjahr gesetzten Haferkörner zeigten auf allen Töpfen sehr niedrige Keimprozentage. In Sand vorgekeimte später gepflanzte Keimlinge kümmernten und zeigten Erscheinungen, die auf alkalische Reaktion des Bodens zurückgeführt wurden. Auf diese deutete auch die negativ ausgefallene Prüfung nach der Methode COMBER und die physiologisch alkalische Düngung. Die Gefässe erhielten deshalb im Juni je 5 g Schwefel in Form von Schwefelblume, um dadurch die alkalische Reaktion d. Bodens zu neutralisieren. Dies schien jedoch im Laufe des Sommers nicht einzutreten, denn die neu gesetzten Pflanzen zeigten nur zu 25%, in jedem Topf gleich, überhaupt Leben, kümmernten die nächsten Monate und waren Anfang Oktober nur z.T. so weit, dass sie Fruchtstände gebildet hatten. Von einer Versuchsreihe wurde der Pflanzenbestand damals wiederum entfernt, der Boden der Töpfe, die verschiedenen Düngungen getrennt, umgeschaufelt, neu eingefüllt und mit den Samen von 4 verschiedenen Versuchspflanzen: Hafer, Gerste, Erbsen und Senf im Gewächshaus neu besetzt. Der Gedankengang hierbei war der, dass vielleicht innerhalb der Monate Juni bis

September der Schwefel zersetzt habe und eine den Pflanzen günstige Bodenreaktion eingetreten sei; dies sollte pflanzenphysiologisch geprüft und hierbei vielleicht auch auf die Reaktions-Empfindlichkeit der 4 verschiedenen Pflanzen Schlüsse gemacht werden.

Die Keimfähigkeit war diesmal auf allen Töpfen durchaus normal. Unterschiede traten erst nach 14 Tagen hervor, und zwar nur bei Senf, wo auffallenderweise d. Gefäß ohne Kali sehr üppig, das Gefäß mit 1,8 Stickstoff sehr schlecht stand. Diese Erscheinung prägte sich in den nächsten Tagen noch schärfer aus; für sie konnte auch späterhin keine Erklärung gefunden werden. Der Bestand auf allen andern Töpfen aber bewies, dass jetzt keine schädigende Reaktion des Bodens vorhanden und der Schwefel also jetzt zersetzt war. Um auch hier wieder einen genauen Masstab für die Wasserstoff-Ionen-Konzentration des Bodens zu haben, wurde am 1. November von allen Töpfen je eine Bodenprobe nach der WHERRYschen Methode untersucht; und ebenso eine vorhandene noch unbehandelte Probe des Gr. Klingbecker Bodens, die also dessen Reaktion vor Zugabe der verschiedenen Düngemittel und des Schwefels zeigen musste. Die Werte für pH, die sich ergaben, sind folgende (durch + verbundene Zahlen bedeuten eine mehrfache Prüfung desselben Gefäßes).

Unbehandelter Boden: 6,9 + 6,9

Düngung	Hafer	Gerste	Senf	Erbsen
I -M	6,7	6,0	6,5	6,3
II + 1,8N	-	6,9 + 6,7	-	-
III + 6,0N	6,9	6,9	6,8	6,5
IV - K	6,5	6,5	6,6	6,3
V -P	6,7	6,7 im Mittel: 6,6	6,5	4,61 + 6,5

Was zeigen diese Zahlen?

1. Die Wasserstoff-Ionen-Konzentration für den ungedüngten Boden ist 6,9. Es ist also keine alkalische Bodenreaktion vorhanden, sondern eine normale, bei der nach den bisherigen Erfahrungen die Pflanzen gut gedeihen. Wenn also die im Frühjahr beobachtete Schädigungen auf die Boden-Reaktion zurückgeführt wurden, so könnte dies nur durch die Zugabe der Düngung, die allerdings physiologisch alkalisch ist, herbeigeführt worden sein; was aber unwahrscheinlich ist deswegen, weil zu gleicher Zeit sämtliche 100 Bodenproben der "MITSCHERLICH-Gesellschaft" mit den gleichen Dosen gedüngt wurden, die, bis auf 2 Böden, überall normal gewirkt haben. Ausserdem hätte sich dann die schädigende Wirkung parallel der Dosis des physiologisch alkalischen Düngemittels, hauptsächlich des Natronsalpeters, differenzieren müssen. Es hätte z.B. Düngung I, wo kein Natronsalpeter gegeben war, geringere Schädigungen zeigen müssen, als Düngung III mit 6 g Natronsalpeter. Trotz genauester Beobachtung haben sich solche Unterschiede aber nicht feststellen lassen. Es zeigte sich nur innerhalb des einzelnen Topfes eine Verstärkung der Schädigung auf die Hälfte oder geschlossene Teile der Bodenoberfläche. Es hängt auch hier von der Stichhaltigkeit der kolorimetrischen Methode für die Wasserstoff-Ionen-Konzentration im Boden ab, ob man die Alkalität als wachstumshemmend annimmt oder nicht. Hält man ihre Ergebnisse für richtig, so müssen andere Kräfte die Pflanzen im Frühjahr und Sommer geschwächt haben, über deren Wesen der vorliegende Versuch keinen Aufschluss geben kann.

2. Die Wasserstoff-Ionen-Konzentration für den zuerst mit verschiedenen alkalischen Düngemitteln, sodann mit Schwefel behandelten Boden ist im Mittel 6,6, also die gleiche wie für den rohen Boden. Über die Schwankung der Werte gilt das bei gleicher Gelegenheit oben gesagte. Der Wert 4,6 für Erbse Düngung V fällt auffallend stark heraus; doch ist dies sicher durch Versuchsfehler (vielleicht durch Spuren in der Zersetzung begriffenen Schwefels in der Probe) zu erklären,

worauf auch der zweite für die Probe gefundene Wert hinweist.

Die doppelte, erst alkalische dann saure Düngung hat also scheinbar die Bodenreaktion nicht verändert. Ob und inwie weit der Boden in Frühjahr durch die alkalische Düngung von seiner ursprünglichen Reaktion entfernt und erst durch die Schwefelgabe wieder dieser genähert ist, kann nicht mehr festgestellt werden. Dass dies aber der Fall gewesen ist, darauf weist ein Vergleich der pH-Werte für Düngung I und Düngung III hin. Wo kein Natron-Salpeter gegeben ist, ist der Wert für pH bei allen 4 Pflanzen um einige Zehntel geringer als bei der starken Salpetergabe, also bei Reihe III der Boden alkalischer als bei Reihe I. KÖNIG und Mitarbeiter (48) fanden bei ihrem schon erwähnten Versuch für Natron-Salpeter eine pH-Differenz, die wohl innerhalb der Fehler liegt. Sie gaben aber nur die in der landwirtschaftlichen Praxis üblichen Mengen - im Versuch 0,18 g/kg - während dem Klingbecker Boden ca. 1g/kg zugesetzt ist, hatten ausserdem keinen Pflanzenbestand und damit auch keine physiologische Wirkung auf die Düngemittel.

Die durch obige Zahlen bewiesenen Differenzen sind so geringfügig, dass sie praktische Bedeutung kaum haben. Anzunehmen ist aber, dass sie unmittelbar nach d. Düngung, besonders aber beim Schossen der Haferpflanzen, grösser gewesen und erst durch allmähliche Wirkung des Schwefels abgeschwächt sind. Pflanzenphysiologisch wären sie nicht erkennbar, wie oben gezeigt ist.

Wahrscheinlich gemacht ist demnach die Wirkung der gegebenen Menge Schwefelblume - 1 g/kg - auf die Bodenreaktion im Laufe der Vegetationsperiode, was gut übereinstimmt mit dem Versuch von ARRHENIUS (49). Er prüfte neben der Kalkwirkung auch die des Schwefels und fand ein halbes Jahr nach der Schwefelgabe bei Lehm Boden eine Veränderung für pH von 6,7 auf 6,0 bei 1g/kg, auf 4,5 bei 2 g/kg, auf 4,0 bei 5 g/kg Schwefel. Bei Sandboden sind die Differenzen viel geringer, die pH Werte sind bei gleicher Schwefelgabe 4,5 - 4,5 - 4,4 - 4,3 (50). Dass hier der Vergleich zwischen Sand und Lehm Boden anders ausfällt als bei der Kalkwirkung, sei nur nebenbei bemerkt. Hiernach ergibt sich auch eine haltbare Erklärung für die negative Wirkung der Schwefelgabe im Hauptversuch. Dort sind einerseits die Bedingungen für ihre Wirkung gegeben, insofern der Carmitter Boden ein milder Lehm und die für die Zersetzung des Schwefels notwendige Zeit innegehalten ist; die Menge von 0,2 g/kg war andererseits für eine feststellbare Reaktionsveränderung zu gering.

Der Unterschied der Schwefelwirkung bei Sand und Lehm Boden beruht z.T. auf d. Vorstellung der biologischen Oxydation des Schwefels im Boden zu Schwefelsäure, wobei Mikroorganismen eine Rolle spielen (DEKOLON, sowie KAPPEN und QUENSELL (52)). Andere Forscher sind allerdings der Meinung, dass diese Umsetzung sowie die Schwefelwirkung überhaupt nicht rein mikrobiologisch zu erklären sei, sondern z.B. auch in sterilem Sand stattfindet (HEINZE (53) sowie MC. INTIRE (54) und Mitarbeiter). Auch die Zeit, in der die Schwefel-Oxydation vor sich geht, wird verschieden beurteilt, aber aller Wahrscheinlichkeit nach bei jedem Boden verschieden sein.

Es sind im letzten Jahrzehnt zahlreiche Laboratoriums- und Vegetationsversuche über die Schwefelwirkung angestellt worden. Die Vegetationsversuche zeigen, soweit sie überhaupt zuverlässige Ergebnisse aufweisen, in den seltensten Fällen eine Beeinflussung der Erträge; wenn eine solche beobachtet wurde, so meist auf saurem Boden eine ertragsverringende Wirkung (v. FEILITZEN, 55). Dass eine Nährstoff-Wirkung nicht infräge kommt, ist schon oben angeführt. Am wahrscheinlichsten ist vielmehr eine Einwirkung auf die Boden-Reaktion durch Bildung von Schwefelsäure; letztere ist abhängig von der Menge des zugeführten Schwefels und den schon erwähnten Faktoren, welche die Zersetzung des Schwefels im Boden beeinflussen. Ob und wie die Schwefelsäure denn auf den Pflanzen-Ertrag wirkt, hängt naturgemäss von der Wasserstoff-Ionen-Konzentration des Bodens und seiner Pufferwirkung ab. Eine günstige Wirkung wird eintreten bei alkalischer, eine ungünstige bei saurer Boden-Reaktion. In letzter Zeit ist man z.B. in Deutschland geneigt, eine starke Versäuerung unseres Kulturbodens anzunehmen (KAPPEN, 56). Für Schweden kommt ARRHENIUS zu einem andern Ergebnis. Er fand bei seinen Untersuchungen (57), dass die meisten Böden sich um den Neutralpunkt gruppieren. Grosse Flächen alka-

lischen Bodens sind wohl nur für Egypten festgestellt. Alle diese Forschungen sind noch im Anfangsstadium. Sie bilden aber zusammen mit der Bestimmung der Optimalreaktion der verschiedenen Pflanzen die Grundlage für die Beurteilung des Schwefels als Düngemittel, und man wird keinen einschlägigen Versuch ohne genaue Beobachtung der Wasserstoff-Ionen-Konzentration des Bodens durchführen dürfen. Ein in jüngster Zeit mit einer grossen Anzahl amerikanischer Böden gemachter Versuch ist der von LOKANITZ (58). Er berücksichtigt nur bei einem kleinen Teil seines Materials die Bodenreaktion und findet auch bei einigen sauren Böden als Wirkung der Schwefel-Düngung Steigerung der Säure und Ertrags-Depression; der überwiegende Teil der Proben zeigt keine Reaktion auf Schwefel-Düngung. Es sind Ergebnisse, die in gleicher Richtung liegen wie die der vorliegenden Versuche mit Carmitter und Klingbecker Boden.

SCHLUSSBEMERKUNG.

Zu Beginn des Versuches war von einer doppelten Fragestellung, nach der Wirkung der Düngesalze auf die Boden-Reaktion einerseits, und der Wirkung letzterer auf den Ertrag verschiedener Pflanzen andererseits ausgegangen worden, jedoch in der Annahme, dass die erste Frage, die der Wirkung der Düngesalze auf den Boden, wenigstens qualitativ feststand, und man sicher damit rechnen konnte, dass bei geeigneter Düngung in der einen Gefäss-Serie eine saure, in der anderen eine alkalische Bodenreaktion herbeigeführt würde. Im Laufe der Untersuchung stellte sich dagegen, wie so oft bei wissenschaftlicher Arbeit, heraus, dass dieser Gedanke keine Prämisse, sondern auch ein Problem war, und zwar ein Problem, das trotz Inangriffnahme von verschiedenen Seiten nicht soweit geklärt werden konnte, dass man genügend sicheren Boden für die Beantwortung des zweiten Teiles der Fragestellung (59) hatte; weshalb das geringe positive Ergebnis der Arbeit, das im folgenden kurz zusammengestellt wird, nicht wunder zu nehmen ist.

1. Es wurden in 2 ostpreussischen Böden Versuche zur Feststellung der Wirkung verschiedener Düngestoffe auf die Boden-Reaktion und den Ertrag verschiedener Pflanzen angestellt.

2. Eine Einwirkung der Düngestoffe auf die Boden-Reaktion konnte nur in einem Falle, und zwar für Natron Salpeter, nicht dagegen für schwefelsaures Ammoniak, Calciumcarbonat und Schwefelblume, festgestellt werden.

3. Den Ertrag der verschiedenen Versuchspflanzen steigerte eine physiologisch-saure Düngung mit Ammonsulfat bei Gerste und Senf, während sie bei Buchweizen und Bohne den Ertrag verringerte.

4. Eine alkalische Düngung mit Calciumcarbonat wirkte bei Buchweizen schädigend.

5. Eine physiologisch-alkalische Düngung mit Natron-Salpeter hob nicht nur d. absoluten Ernte-Erträge des Buchweizens, sondern änderte auch das Verhältnis Stroh zu Korn zugunsten des Korn-Ertrages.

Die den vorstehenden Ausführungen zugrunde liegenden Ergebnisse der einzelnen Vegetationsversuche (in Gramm Trockensubstanz).

Düngungsplan.

I	Grunddüngung	+	6 g	Natronsalpeter	+	25 g	kohlensaurer Kalk.
II	"	+	6 g	"	+	10 g	" "
III	"	+	6 g	"	-	-	-
IV	"	+	5 g	schwefels. Ammoniak	-	-	-
V	"	+	5 g	" "	+	2 g	Schwefelblume.

Düngung	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
		Gersten-Erträge.		
I	Korn 38,5 Stroh 47,0	44,5 51,5	48,5 56,5	46,0 61,5
II	Korn 42,5 Stroh 49,0	45,0 50,5	47,0 52,0	50,0 58,5
III	Korn 39,5 Stroh 42,5	44,5 53,5	43,5 52,0	47,0 59,5
IV	Korn 49,0 Stroh 58,0	53,0 58,0	54,0 64,5	- -
V	Korn 43,5 Stroh 55,0	51,5 65,5	54,0 63,0	50,5 60,5
		Hafer-Erträge.		
I	Korn 61,0 Stroh 72,2	61,5 77,0	66,5 77,0	58,0 69,7
II	Korn 54,8 Stroh 68,0	53,5 71,1	55,5 74,4	49,9 61,5
III	Korn 57,5 Stroh 76,7	56,5 70,4	55,0 74,8	- -
		Buchweizen-Erträge.		
I	Korn 18,7 Stroh 17,5	16,5 12,5	20,0 17,7	16,0 16,1
II	Korn 25,4 Stroh 19,0	23,3 17,9	29,5 27,3	18,2 19,3
III	Korn 27,0 Stroh 21,0	30,5 25,2	28,7 27,5	21,6 22,0
IV	Korn 18,5 Stroh 16,2	16,5 18,0	19,0 27,5	18,5 17,9
V	Korn 18,5 Stroh 17,5	18,0 20,0	22,0 24,0	12,7 12,3
		Senf-Erträge.		
I	64,0	72,5	58,0	51,0
II	50,0	54,0	53,0	61,0
III	53,0	51,0	54,0	60,0
IV	66,0	75,0	76,5	69,0
V	69,0	65,5	59,0	69,0
		Bohnen-Erträge.		
I	Korn 30,2 Stroh 57,0	41,5 79,5	46,0 55,8	35,2 67,8
II	Korn 62,8 Stroh 83,7	32,5 61,5	51,1 71,9	45,8 66,2
III	Korn 61,0 Stroh 73,0	30,0 54,0	39,3 59,7	28,5 52,0
IV	Korn 38,1 Stroh 52,1	25,1 45,0	36,9 53,5	32,9 54,6
V	Korn 27,5 Stroh 45,5	42,5 59,5	33,1 59,9	31,4 52,6

Düngung	Versuch 1	Versuch 2	Versuch 3	Versuch 4
		Erbsen-Erträge.		
I	Korn 39,3 Stroh 37,7	38,2 45,1	35,0 40,5	21,6 30,4
II	Korn 27,6 Stroh 40,1	36,5 52,5	26,7 56,3	26,1 44,4
III	Korn 27,6 Stroh 39,9	35,1 52,6	32,0 54,5	55,3 57,7
IV	Korn 40,4 Stroh 45,1	35,7 45,3	40,4 39,1	46,5 51,8
V	Korn 30,4 Stroh 37,6	31,2 45,8	22,1 34,4	21,2 36,3

LITERATUR-VERWEISE UND ANMERKUNGEN.

- (1) KRULL in Mez, Archiv VI (1924) p. 334 - 404. - (2) KÖNIG, HASENBÄUMER und KRÖGER in Landw. Jahrb. LVIII (1923) p. 121. - (3) MITSCHERLICH in Landw. Jahrb. LIV (1920) p. 481. - (4) MITSCHERLICH in Land. Jahrb. LII (1918) p. 292 - 293. - (5) LEMMERMANN u. FRIESENIUS in Zeitschr. f. Pflanzenernähr. u. Düngung I (1922) Heft 1. - (6) LEMMERMANN, EINECKE und WIESMANN in Landw. Jahrb. L (1916) p. 694. - (7) MITSCHERLICH in Landw. Jahrb. LVIII (1923). - (8) MITSCHERLICH 1923, l.c. - (9) ARRHENIUS, Absorption of nutrients, in Journ. of general Physiology V (1922) p. 81 - 88. - (10) MITSCHERLICH, Bodenkunde, 4. ed. (1923) p. 200 - 201. - (11) ONODERA in Mitt. D. Landw.-Ges. 1921, p. 286. - (12) LEMMERMANN und FRIESENIUS, l.c. - (13) EHRENBURG, Das Kalk-Kaligesetz, in Landw. Jahrb. LIV (1920) p. 86. - (14) GOY in Arb. Landwirtschaftskammer Ostpreuss. (1923) Heft 43. - (15) Zeitschr. f. Pflanzenern. u. Düngung 1923, Heft 6, p. 299. - (16) l.c. p. 289. - (17) MITSCHERLICH, Bodenkunde, p. 226 und NOLTE in Journ. f. Landwirtschaft. LXV (1917) p. 59 - 62. - (18) MITSCHERLICH in Landw. Jahrb. LIV (1920) p. 485 ff. - (19) PRJANISCHNIKOW, Die Düngerlehre 1923, p. 282. - (20) PFEIFFER, SIMMERMACHER u. SPANGENBERG in Landw. Vers.-Stat. 1916, p. 210 ff. - (21) SIMMERMACHER, Diss. Königsberg 1912. - (22) MITSCHERLICH in Landw. Jahrb. LIV, p. 485 ff. - (23) PRJANISCHNIKOW, l.c. p. 282, 283. - (24) Vergl. Königsberger Allg. Ztg. 1923 nr. 149: LOEB, "Der kälteste Juni seit 200 Jahren". - (25) DEMOLON in Comptes rend. CLIV (1912) p. 524 und CLVI (1913) p. 725. - (26) PFEIFFER u. BLANCK, in Landw. Vers.-Stat. LXXXIII (1914) p. 366 ff. - (27) HILBARD in Soil science XI (1921) p. 385 - 387. - (28) MITSCHERLICH in Land. Jahrb. LII, p. 284 - 296. - (29) KRAFFT, Pflanzenbaulehre 12. ed. (1920) p. 36. - (30) SPRENGEL, Lehre vom Düngen (1939) p. 298, cit. bei Ehrenberg (13) p. 86. - (31) Ill. Landw. Ztg. XXXVI (1916) p. 293. - (32) FITTBOGEN in Landw. Jahrb. V (1876) p. 805. - Diese Veröffentlichung konnte nicht eingesehen werden. Vergl. Ehrenberg (13) p. 87. - (33) PFEIFFER in Landw. Vers.-Stat. LXXXVIII (1915) p. 191. - (34) PFEIFFER l.c. LXXXIX (1917) p. 204. - (35) PFEIFFER, l.c. 1917, p. 230. - (36) EHRENBURG, l.c. p. 36 ff. - (37) LANGETHAL, Pflanzenbau, 5. ed. III (1874) p. 104, 168. - (38) HILGARD in Forsch. a. d. Geb. d. Agriculturphysik X (1888) p. 190 - 191. - (39) FURUTA in Bull. Coll. Agricult. Tokio IV, nr. 5; siehe auch Landw. Jahrb. XXXI (1902) p. 570. - (40) EHRENBURG (13) p. 94. - (41) CREYDT, Diss. Göttingen 1914, p. 114. - (42) ARRHENIUS, Bodenreaktion und Pflanzenleben (1922) p. 12. - (43) WHERRY, Soil acidity and a field method for its measurement, in Ecology 1920, vergl. auch ARRHENIUS, l.c. p. 4 und 5. - (44) KÖNIG, HASENBÄUMER u. KRÖGER, l.c. p. 119 ff. - (45) ARRHENIUS, l.c. p. 14. - (46) KÖNIG etc., l.c. p. 120 ff. - (47) KÖNIG etc. l.c. p. 121 ff. - (48) KÖNIG etc., l.c. p. 118. - (49) ARRHENIUS, l.c. p. 14. - (50) Die Zahlen z.T. nach einer liebenswürdigen persönlichen Mitteilung von ARRHENIUS. - (51) DEMOLON, l.c. - (52) KAPPEN u. QUENSELL in Landw. Versu.-Stat. 1915, p. 1 ff. - (53) HEINZE, Die Naturwissenschafte, 1913, p. 112.

- (54) Mc. INTIRE in Journ. Ind. and Eng. Chem. 1921, Nr. 4, p. 310. - (55) FEILTZEN in Frühl. Landw. Ztg. 1913, p. 231 ff. - (56) KAPPEN, Bodenazidität und Kalkdüngung, in Mitt. D. Landw.-Ges. 1922, Stck. 44. - (57) ARRHENIUS, l.c. p. 7 ff. - (58) LOMANITZ, The needs of the soils of Brazos and Jefferson counties for sulphur in Texas agricult. Exp. Stat. 1922. - (59) Diese notwendige sichere Basis für die Feststellung der Optimal-Reaktion schafft O. ARRHENIUS nach seiner - bei Abschluss dieser Untersuchungen erscheinenden - Arbeit: "Nagra Bitrag till Kännendomen om sambandet Mellan markreaktioner och vissa kulturväxters utveckling" (Stockholm 1923) dadurch, dass er von vorn herein auf verschiedene pH abgestimmte Böden zur Kultur von Pflanzen benützt. Ein Vergleich seiner Ergebnisse mit den hier erzielten ist unmöglich, weil hier ja nur mit e i n e r Wasserstoff-Ionen-Konzentration im Versuch gearbeitet wurde.

Botanische Untersuchungen über Hitzetod und Stoffwechselgifte.

Von HANS ILLERT (Giessen).

A. ALLGEMEINES ÜBER DEN EINFLUSS HOHER TEMPERATUREN AUF PFLANZEN.

Der Temperaturgrad, dessen Überschreitung für die Zellen der Pflanzen tödlich wirkt, liegt sehr verschieden hoch. Er wird als Maximum bezeichnet und stellt diejenige Temperatur dar, bei der ein bestimmter Organismus sich gerade noch, ohne Schädigungen zu erleiden, dauernd am Leben erhalten kann. In dem oberhalb davon gelegenen, dem supramaximalen Temperaturgebiet, geht er in jedem Falle nach kürzerer oder längerer Zeit zugrunde; Temperaturgrad und Lebensdauer stehen hier in umgekehrtem Verhältnis. Demgemäss kann jede supramaximale Temperatur bei entsprechender Einwirkungsdauer Tötungstemperatur werden (1). Die quantitativen Beziehungen werden dabei, wie bei allen chemischen und biochemischen Prozessen, die durch Wärme beeinflusst werden, durch die R-G-T-Regel wiedergegeben (2). Diejenige Temperatur, bei welcher die Tötung sofort eintritt, wird (nach ENGELMANN) als Ultramaximum bezeichnet,

Vorliegende Untersuchungen liefern nun einen Beitrag zu der Frage der Temperatur-Abhängigkeit von Lebensdauer und Giftwirkung bei höheren Pflanzen, ein Gebiet, dem sich die Forschung bisher noch kaum zugewandt hatte. Es folgt zunächst ein kurzer Überblick über die Geschichte dieses Problems.

PFEFFER (3) nimmt an, dass die Tötung nicht notwendig etwa mit der Koagulation des Eiweisses zusammenhänge; vielmehr würden durch die Temperatur-Erhöhung alle Lebensprozesse derart beschleunigt, dass die Pflanze sich "zu Tode arbeite".

Wesentlich bestimmter fasst ARTHUR MEYER (4) das Problem. Welcher Art das den Hitzetod bedingende Moment ist, ist auch ihm noch unbekannt; doch schliesst er aus den von der R-G-T-Regel abweichenden, aber bei seinen Versuchen konstanten Werten für Q_{10} auf eine einheitliche innere Todesursache; im übrigen vermutet er, dass sie mit der physikalischen Natur der Zelle, etwa der kolloidalen Beschaffenheit des lebenden Protoplasmas zusammenhänge.

Weiterhin lieferte dann das Experiment eine Fülle von Beiträgen zu diesen Fragen (5). Das eigentliche Problem aber greift LEPESCHKIN (6) auf und führt es einer wesentlichen Klärung entgegen. Er weist nach, dass der Hitzetod tatsächlich auf einer Koagulation von Eiweiss-Stoffen beruht, die sich in dem Schwinden der Semipermeabilität bemerkbar macht (7). Auch er hält an der Annahme einer einheitlichen innern Todesursache fest, was übrigens ja auch für die von ihm untersuchten Fälle zutreffen dürfte. Wie die folgenden Untersuchungen zeigen genügt seine Auffassung jedoch nicht, alle Erscheinungen zu erklären.

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: [Botanisches Archiv. Zeitschrift für die gesamte Botanik](#)

Jahr/Year: 1924

Band/Volume: [7](#)

Autor(en)/Author(s): Botho von Rose

Artikel/Article: [Ein Beitrag zur Einwirkung der Düngesalze auf die Bodenreaktion und den Ertrag verschiedener Pflanzen 112-133](#)